植物多糖对断奶仔猪生长性能及肠道内环境的影响

谢红兵　邹　云　刘丽莉　杨永生　贺建华*

（湖南农业大学动物科学技术学院，长沙 410128）

摘　要：本试验旨在探讨断奶仔猪饲粮中单独或联合添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖对断奶仔猪生长性能及肠道内环境的影响。试验选取256头35日龄的杜长大三元杂交断奶仔猪，随机分为8个组，每组4个重复，每个重复8头猪。采用三因素两水平(2×2×2)试验设计，饲粮中黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖的添加水平设置为0和800 mg/kg，试验共进行28 d。结果表明：1）在断奶仔猪饲粮中单独或两两联合添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖有提高断奶仔猪平均日增重的趋势（P>0.05），3种多糖联合使用能显著提高断奶仔猪平均日增重（P<0.05），各组之间料重比无显著差异（P>0.05）。断奶仔猪饲粮中单独添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖均能显著降低断奶仔猪的腹泻率（P<0.05），多糖之间存在一定互作效应。2）与对照组相比，单独或联合添加多糖组断奶仔猪回肠、直肠内容物的pH无显著变化（P>0.05），盲肠和结肠内容物pH显著降低（P<0.05），3种多糖联合添加对盲肠内容物pH有互作效应（P<0.05）。3）与对照组相比，单独或联合添加多糖组断奶仔猪盲肠内容物总挥发性脂肪酸含量均显著上升（P<0.05），三者联合的效果显著高于单独添加（P<0.05）。4）在断奶仔猪饲粮中单独或联合添加植物多糖均能显著提高肠道内乳酸菌和双歧杆菌的数量（P<0.05），多糖两两组合组与单一添加组相比肠道内乳酸菌和双歧杆菌的数量有增加趋势，但差异不显著（P>0.05），单独或联合添加多糖能显著降低肠道中大肠杆菌的数量（P<0.05）。由此可见，饲粮添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖可改善其肠道内环境，降低仔猪腹泻，从而改善断奶仔猪的生长性能，且以三者联合添加效果最佳。

关键词：黄芪多糖；白术多糖；牛膝多糖；生长性能；肠道内环境

中图分类号：S816.7　　文献标识码：A　　文章编号：

仔猪断奶是一个很大的应激过程，仔猪断乳后由于其饲粮形态和结构会发生很大变化，会导致仔猪肠道的微环境不稳定，胃肠道内微生物的数量和种类以及肠道结构和功能也发生一定变化[1]，断奶后如果饲养水平低下仔猪甚至会出现“生长抑制”现象，采食量下降，维

收稿日期：2018－02－03

基金项目：国际科技合作项目（2011DFA30490-2）；湖南省自然科学基金重点项目（12JJ8014）；湖南省重大科技专项（2012FJ1004-2）

作者简介：谢红兵（1976—），男，湖北洪湖人，博士研究生，从事动物营养与生产研究。E-mail：xhb9607@126.com

*通信作者：贺建华，教授，博士生导师，E-mail: jianhuahy@hunau.edu.cn

持需要增加，对肠道病原菌的敏感性增加，患大肠杆菌病的可能性增大[2]。在过去几十年里，人们通常在断奶仔猪饲粮中添加一定量抗生素来改善动物机体健康，达到治疗和预防动物机体疾病，提高其生产性能的目的。然而，近年来抗生素在动物生产中的负面影响越来越受到人们的关注[3]。因此，寻找抗生素替代产品迫在眉睫。目前，以药用植物多糖替代抗生素产品作为畜禽免疫调节剂和代谢调控剂受到动物营养学家的关注[4]。

药用植物多糖是从天然药用植物中分离，由糖苷键聚合 10 个以上到上万个单糖及单糖衍生物具有一定生物活性的高分子化合物，其不仅可作为能量资源及组织细胞的结构物质，而且还参与和介导了对各种生命现象的调控，具有抗寄生虫、抗肿瘤、抗菌、降血糖、抗氧化、抗病毒、抗血栓、抗辐射、抗衰老、降血脂和免疫调节等作用[5-6]。目前已有多种植物多糖被分离出来，并在动物饲养试验中初步表现出了促进生长、调控免疫的作用。赵燕飞等[7]研究发现白术多糖(*Atractylodes macrocephalaon* polysaccharide,AMP)可增加断奶仔猪肠道微生态区系的多样性，改善其肠道内环境。甄玉国等[8]报道断奶仔猪饲粮中添加 200 mg/kg 黄芪多糖（*Astragalus* polysaccharides，APS）可丰富盲肠微生物菌群，提高其料重比。任芬芬[9]研究表明牛膝多糖(*Achyranthes bidentata* polysaccharides，ABP)对断奶仔猪各肠道段的大肠杆菌、乳酸菌等有显著的影响。

糖苷键类型对药用植物多糖生物活性有很大的影响，其中糖苷键的多糖具有一定生理活性，此外植物多糖的结构、分子质量、溶解度以及黏度等均影响其作用[10]。黄芪多糖是药用黄芪中提取的分子量比较大的多糖，主要由葡萄糖、阿拉伯糖和半乳糖聚合而成，白术多糖是由菊科植物白术中提取的一类多糖，主要由果聚糖和甘露聚糖聚合而成，牛膝多糖的分子量比较小，主要由葡萄糖和果糖聚合而成。目前关于多糖的试验研究主要集中在单一多糖的饲喂效果试验，但是单一多糖之间效果的比较，以及几种多糖联合使用对断奶仔猪肠道内环境是否存在互作效应还鲜有报道。本试验以研究黄芪多糖、白术多糖、牛膝多糖单一或联合添加对断奶仔猪生长性能及肠道内环境的影响，旨在为配制高质量仔猪饲粮提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验中所用黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖参照 Chen 等[11]的方法提取和制备。用蒽酮－硫酸法分别检测黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖含量，黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖含量分别为 65%、60%和 60%。

1.2 试验动物及饲粮

试验动物选用256头35日龄杜长大三元杂交断奶仔猪。饲粮为玉米豆粕型饲粮，参照NRC（2012）标准配制，基础饲粮组成及营养水平见表1。

表1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet （air-dry basis）　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	60.85
豆粕 Soybean meal	10.00
发酵豆粕 Fermented soybean	10.00
鱼粉 Fish meal	5.00
乳清粉 Whey powder	5.00
石粉 Limestone	0.80
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.20
大豆油 Soybean oil	2.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.20
食盐 NaCl	0.30
酸化剂 Acidifier	2.00
L-赖氨酸 Lys	1.15
DL-蛋氨酸 Met	0.40
L-苏氨酸 Thr	0.10
预混料 Premix[1)]	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
消化能 DE/(MJ/kg)	14.27
粗蛋白质 CP	19.62
钙 Ca	0.98
总磷 TP	0.65
赖氨酸 Lys	1.12
色氨酸 Try	0.23

苏氨酸 Thr	0.97
蛋氨酸 Met	0.76
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	1.25

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided following per kilogram of the diet：VA 12 276 IU，VD_3 1 228 IU，VE 11 IU，VK_3 2.2 mg，VB_1 1.3 mg，VB_2 3.1 mg，VB_6 1.2 mg，VB_{12} 23 μg，烟酸 nicotinic acid 23 mg，泛酸 pantothenic acid 13.4 mg，生物素 biotin 0.11 mg，叶酸 folic acid 0.68 mg，Cu 25 mg，Fe 156 mg，Zn 100 mg，Mn 54 mg，Se 0.3 mg，I 0.5 mg。

[2)] 营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

1.3 试验设计及饲养管理

试验猪按照“体重相近、公母各占 1/2”的原则随机分为 8 个组，每组 4 个重复，每个重复 8 头。采用三因素两水平（2×2×2）试验设计，对照组（组 1）饲喂基础饲粮，试验组分别在基础饲粮中添加不同组合的黄芪多糖、白术多糖及牛膝多糖饲粮。试验设计如表 2 所示。

饲养试验在湖南省益阳市农业科学研究所猪场进行，试验期为 28 d，采用漏缝地板饲养，猪只每天饲喂 4 次，分别为 06:00、10:00、14:00 和 18:00。猪只自由饮水，按猪场的常规管理进行疫苗的免疫接种。

表 2 试验设计

Table 2 Experimental design mg/kg

组别 Groups	黄芪多糖 APS	白术多糖 AMP	牛膝多糖 ABP
1			
2	800		
3		800	
4			800
5	800	800	
6	800		800
7		800	800
8	800	800	800

1.4 测定指标

1.4.1 生长性能测定

在试验开始和结束对仔猪称重，并每天记录猪的采食量和猪的腹泻情况，其中粪便不成形，且粪便水分多视作腹泻仔猪，粪便成形且水分含量少作为正常仔猪。计算仔猪的平均日增重、料重比与腹泻率。

1.4.2 各段肠道内容物 pH 测定

试验结束后随机从每个重复选取 1 头猪屠宰取肠道内容物，每组 4 头，打开猪的腹腔，分别结扎断奶仔猪的回肠、盲肠和结肠，并选取猪回肠、盲肠、结肠中的内容物，与水按照质量体积比 1∶5 的比例混匀，在 4 ℃条件下 3 500 r/min 离心 10 min，取上清液，用 pH 计测量各肠段内容物的 pH。

1.4.3 肠道内容物挥发性脂肪酸(VFA)含量测定

打开猪的腹腔后迅速分别结扎断奶仔猪的回肠、盲肠与结肠，在试验各组猪回肠、盲肠、结肠的相同位置各选取内容物各大约 10 g 装入 10 mL 灭菌离心管中。在无菌操作台内准确称取 3 g 盲肠食糜，用同体积蒸馏水进行稀释，充分振荡混匀，静置 30 min，然后用 2 500 r/min 离心 10 min，取上清液 2 mL，将上清液于 12 000 r/min 离心 10 min，取上清液 1 mL 加入 0.2 mL 的 25%偏磷酸充分混匀，静置 30 min，然后在 12 000 r/min 离心 10 min，取上清液 100 μL，加入 900 μL 甲醇混匀，于 12 000 r/min 离心 10 min，取上清液于－20 ℃条件下保存待测定。用气相色谱仪测定 VFA 的含量。

1.4.4 肠道微生物数量测定

在无菌操作台内分别准确称取盲肠、结肠 1.0 g 粪样，并加入 9 mL 的灭菌生理盐水配制成 1∶10 的稀释液，然后依次进行 10^{-3}～10^{-7} 稀释后进行接种、培养，并分别测定断奶仔猪各肠道段的大肠杆菌、双歧杆菌及乳酸杆菌的数量。其中大肠杆菌采用麦康凯培养基培养；乳酸杆菌采用 MRS 琼脂培养基培养；双歧杆菌采用双歧杆菌选择性培养基培养。所有微生物数量均采用平板菌落计数法进行统计。

1.5 统计分析

采用 SAS 9.2 软件中的一般线性模型（GLM）对本试验的数据进行统计分析，所有试验数据均采用“平均值±标准差”来表示。以 P<0.05 为显著水平，用 Duncan 氏法作多重比较。

2 结果与分析

2.1 植物多糖对断奶仔猪生长性能的影响

由表 3 可知，各单独添加多糖组之间相比，黄芪多糖组（组 2）的平均日增重最高，但

各组之间差异不显著（P>0.05）；与对照组相比，3 种多糖联用显著增加平均日增重（P<0.05）。饲粮中单独添加黄芪多糖、白术多糖及牛膝多糖均未显著提高断奶仔猪的平均日采食量（P>0.05）。黄芪多糖组、白术多糖组（组 3）和牛膝多糖组（组 4）料重比与对照组相比有降低的趋势，但差异不显著（P>0.05）；饲粮中联合添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖组均能在一定程度上降低断奶仔猪料重比，但差异不显著（P>0.05）。饲粮中单独添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖均能显著降低断奶仔猪腹泻率（P<0.05）；饲粮中联合添加黄芪多糖和白术多糖以及联合添加白术多糖和牛膝多糖对仔猪的腹泻率有显著的互作效应（P<0.05），且黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖三者联合使用也对腹泻率有显著的互作效应（P<0.05）。

表 3　植物多糖对断奶仔猪生长性能的影响

Table 3　Effects of botanical polysaccharide on growth performance of weaned piglets

组别 Groups	初始体重 Initial body weight/kg	末体重 Final body weight/kg	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G	腹泻率 Diarrhea rate/%
1	10.31±0.15	22.82±1.06	446.78±35.72^{a}	774.43±31.30	1.74±0.18	6.47±1.18^{a}
2	10.24±0.21	23.25±0.89	464.56±31.77^{ab}	786.35±39.11	1.70±0.11	3.68±0.56^{b}
3	10.43±0.14	23.40±0.54	463.13±21.08^{ab}	804.13±63.63	1.74±0.15	3.02±0.76^{b}
4	10.25±0.18	23.19±0.61	461.97±22.48^{ab}	787.15±53.42	1.73±0.17	3.46±0.43^{b}
5	10.41±0.07	23.56±0.39	469.56±15.07^{ab}	797.60±47.59	1.68±0.10	3.46±1.12^{b}
6	10.33±0.13	23.64±0.44	475.36±13.93^{ab}	787.11±56.44	1.66±0.14	3.24±1.17^{b}
7	10.29±0.03	23.65±0.39	477.41±14.00^{ab}	797.63±37.02	1.67±0.10	3.13±0.63^{b}
8	10.31±0.09	24.23±1.49	497.06±52.67^{b}	836.03±64.00	1.69±0.17	2.68±0.73^{b}
P 值 *P*-value						
黄芪多糖 APS		0.1719	0.172 4	0.751 4	0.415 6	0.002 6
白术多糖 AMP		0.102 2	0.163 6	0.276 1	0.823 2	0.001 1
牛膝多糖 ABP		0.156 0	0.108 9	0.361 5	0.637 7	0.021 6
黄芪多糖×白术多糖 APS×AMP		0.890 6	0.901 6	0.781 5	0.709 8	0.032 5
黄芪多糖×牛膝多糖 APS×ABP		0.699 1	0.830 0	0.648 1	0.784 8	0.186 1

白术多糖×牛膝多糖 AMP×ABP	0.894 0	0.707 2	0.798 1	0.980 2	0.021 6
黄芪多糖×白术多糖×牛膝多糖 APS×AMP×ABP	0.744 0	0.669 3	0.286 1	0.569 1	0.009 5

同列数据肩标不同字母表示差异显著(P＜0.05)，相同字母或无字母表示差异不显著(P＞0.05)。下表同。

In the same column, values with different letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), while with the same letter or no letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05). The same as below.

2.2 植物多糖对断奶仔猪肠道内容物 pH 的影响

由表 4 可知，断奶仔猪饲粮中添加植物多糖使回肠内容物和直肠内容物 pH 有下降的趋势，但无显著差异（P>0.05）。无论单独添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖还是两两联合添加时，断奶仔猪盲肠内容物 pH 均显著下降（P<0.05）；各植物多糖组之间相比较，差异不显著（P>0.05），三者联合添加与单独添加或两两联合添加相比较盲肠内容物 pH 显著降低（P<0.05）；黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖三者联合添加对盲肠内容物 pH 具有极显著的交互作用（P<0.01）。在结肠段，不同组合植物多糖组间肠道内容物 pH 无显著差异（P>0.05），但与对照组相比，植物多糖组（组 2 和组 5~组 8）显著降低了结肠内容物 pH（P>0.05）。

表 4　植物多糖对断奶仔猪肠道内容物 pH 的影响

Table 4　Effects of botanical polysaccharide on pH of intestinal contents of weaned piglets

组别 Groups	回肠 Ileum	盲肠 Cecum	结肠 Colon	直肠 Rectum
1	6.41±0.14	6.40±0.20[a]	6.73±0.32[a]	6.82±0.15
2	6.26±0.23	6.16±0.18[b]	6.45±0.24[b]	6.68±0.23
3	6.33±0.10	6.18±0.15[b]	6.50±0.46[ab]	6.71±0.19
4	6.29±0.16	6.17±0.17[b]	6.49±0.37[ab]	6.64±0.25
5	6.26±0.15	6.12±0.09[b]	6.41±0.17[b]	6.60±0.25
6	6.26±0.05	6.11±0.19[b]	6.35±0.17[b]	6.58±0.19
7	6.29±0.20	6.12±0.16[b]	6.39±0.22[b]	6.61±0.22
8	6.21±0.15	5.46±0.19[c]	6.25±0.11[b]	6.57±0.16
P 值 *P*-value				
黄芪多糖 APS	0.138 7	0.003 5	0.015 7	0.255 9

白术多糖 AMP	0.557 8	0.001 7	0.076 5	0.440 4
牛膝多糖 ABP	0.346 5	0.004 3	0.022 6	0.172 7
黄芪多糖×白术多糖 APS×AMP	0.845 6	0.325 1	0.455 4	0.857 8
黄芪多糖×牛膝多糖 APS×ABP	0.619 6	0.144 3	0.711 5	0.603 8
白术多糖×牛膝多糖 AMP×ABP	0.838 7	0.268 4	0.787 1	0.580 4
黄芪多糖×白术多糖×牛膝多糖 APS×AMP×ABP	0.572 9	0.000 7	0.455 4	0.925 2

2.3 植物多糖对断奶仔猪盲肠内容物 VFA 含量的影响

由表 5 可知，添加植物多糖组的断奶仔猪盲肠内容物总 VFA 的含量均显著高于对照组（$P<0.05$），除组 8 外，各植物多糖组之间相比差异不显著（$P>0.05$）；黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖两两组合与单一的多糖相比盲肠内容物总 VFA 的含量有增加的趋势（$P>0.05$），3 种多糖联合使用与单一多糖使用相比，盲肠内容物总 VFA 的含量均显著提高（$P<0.05$），与 2 种多糖联合使用相比有增加的趋势，但差异不显著（$P>0.05$）。单独添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖能显著提高断奶仔猪盲肠内容物乙酸和丙酸的含量，但以上各植物多糖组之间相比差异不显著（$P>0.05$），2 种植物多糖联合与单一多糖添加相比对盲肠内容物乙酸和丙酸的含量的影响差异不显著（$P>0.05$），但三种多糖联合使用比单一的多糖使用相比差异显著（$P<0.05$）。单独添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖或两两联合及三者联用均可显著提高断奶仔猪盲肠内容物丁酸含量（$P<0.05$），且三者联合使用与单一多糖相比盲肠内容物丁酸含量显著提高（$P<0.05$）。

表 5 植物多糖对断奶仔猪盲肠内容物挥发性脂肪酸含量的影响

Table 5 Effects of botanical polysaccharide on VFA content in cecum content of weaned piglets (n=4)

（mg/mL）

组别 Groups	总挥发性脂肪酸 Total VFA	乙酸 Acetic acid	丙酸 Methylacetic	丁酸 Butyrate
1	90.19±3.69^{a}	61.32±6.69^{a}	21.48±3.58^{a}	7.40±0.46^{a}
2	113.06±10.03^{b}	72.42±8.81^{b}	29.81±1.34^{b}	8.33±0.66^{b}
3	108.55±8.43^{b}	71.69±9.10^{b}	31.11±3.40^{b}	8.26±0.40^{b}
4	105.68±4.91^{b}	68.37±6.63^{b}	29.24±3.40^{b}	8.07±0.76^{b}
5	126.63±9.91^{bc}	82.34±9.20^{bc}	35.62±3.30^{bc}	8.67±0.46^{bc}

6	122.07±12.17^{bc}	80.38±11.85^{bc}	33.16±2.55^{bc}	8.53±0.62^{bc}
7	113.76±9.67^{bc}	74.56±9.71^{bc}	30.98±1.73^{b}	8.22±0.22^{b}
8	131.18±14.92^{c}	84.44±8.81^{c}	37.92±8.37^{c}	8.82±0.57^{c}
P 值 *P*-value				
黄芪多糖 APS	0.002 2	<0.000 1	0.000 3	0.004 4
白术多糖 AMP	0.024 4	0.000 5	0.000 7	0.042 6
牛膝多糖 ABP	0.028 8	0.004 2	0.027 5	0.021 2
黄芪多糖×白术多糖 APS×AMP	0.840 5	0.403 8	0.889 1	0.622 5
黄芪多糖×牛膝多糖 APS×ABP	0.991 6	0.438 8	0.729 1	0.715 9
白术多糖×牛膝多糖 AMP×ABP	0.438 2	0.111 7	0.126 9	0.336 4
黄芪多糖×白术多糖×牛膝多糖 APS×AMP×ABP	0.896 2	0.327 7	0.238 0	0.410 5

2.4 植物多糖对断奶仔猪肠道微生物数量的影响

由表 6 可知，在断奶仔猪饲粮中单独添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖均能显著降低断奶仔猪盲肠和结肠内大肠杆菌的数量（$P<0.05$），3 组之间相比差异不显著（$P>0.05$）；多糖两两联合与单独添加 1 种多糖相比盲肠和结肠内大肠杆菌的数量有不同程度地下降，但无显著差异（$P>0.05$）；但 3 种多糖联用与 2 种多糖联合使用相比盲肠和结肠内大肠杆菌的数量显著下降（$P<0.05$），且 3 种多糖联合使用体现出交互效应（$P<0.05$）。对断奶仔猪肠道内的乳酸菌数量而言，黄芪多糖组、白术多糖组以及牛膝多糖组与对照组相比较均显著提高（$P<0.05$），且表现出两两联合效果高于单一多糖、三者联合效果高于两两联合的现象，但差异不显著（$P>0.05$）。单独添加白术多糖和牛膝多糖能显著提高断奶仔猪盲肠内双歧杆菌的数量（$P<0.05$），黄芪多糖组与对照组相比有提高的趋势，但差异不显著（$P>0.05$）；多糖两两联合较单独添加 1 种多糖相比盲肠内双歧杆菌的数量有不同程度的提高，但差异不显著（$P>0.05$）；3 种多糖联合使用与 1 种多糖相比盲肠内双歧杆菌的数量显著提高（$P<0.05$），但与两两联合相比差异不显著（$P>0.05$）。黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖均能提高断奶仔猪结肠内双歧杆菌的含量，但差异不显著（$P>0.05$）；3 种多糖联合使用与单独添加 1 种多糖相比，断奶仔猪结肠内双歧杆菌的数量显著提高（$P<0.05$）。

表 6　植物多糖对断奶仔猪肠道微生物数量的影响

Table 6　Effects of botanical polysaccharide on intestinal microorganism number of weaned piglets　　lg（CFU/g）

组别 Groups	盲肠 Cecum			结肠 Colon		
	大肠杆菌 *Escherichia coli*	乳酸菌 *Lactobacillus*	双歧杆菌 *Bacillus bifidus*	大肠杆菌 *Escherichia coli*	乳酸菌 *Lactobacillus*	双歧杆菌 *Bacillus bifidus*
1	8.33±0.25[a]	6.31±0.17[a]	7.41±0.21[a]	8.06±0.14[a]	6.65±0.21[a]	7.56±0.32[a]
2	7.68±0.30[b]	6.98±0.07[b]	7.58±0.27[ab]	7.86±0.19[b]	7.30±0.12[b]	7.72±0.20[a]
3	7.44±0.46[b]	6.86±0.42[b]	7.71±0.25[bc]	7.76±0.27[b]	7.31±0.11[b]	7.72±0.22[a]
4	7.30±0.36[b]	6.94±0.32[b]	7.69±0.28[bc]	7.76±0.28[b]	7.39±0.19[b]	7.71±0.21[a]
5	7.20±0.28[b]	7.00±0.12[b]	7.89±0.22[bcd]	7.33±0.30[b]	7.56±0.10[b]	7.77±0.28[ab]
6	7.02±0.42[b]	7.09±0.14[b]	7.86±0.22[bcd]	7.37±0.34[b]	7.72±0.16[b]	7.75±0.28[a]
7	7.17±0.33[b]	7.09±0.14[b]	8.00±0.12[cd]	7.60±0.22[b]	7.55±0.24[b]	7.81±0.18[ab]
8	6.61±0.35[c]	7.24±0.32[b]	8.14±0.21[d]	6.96±0.35[c]	7.82±0.22[b]	8.15±0.21[b]
P 值 *P*-value						
黄芪多糖 APS	0.005 2	0.001 2	0.002 3	0.008 9	0.001 4	0.075 3
白术多糖 AMP	0.002 3	0.011 3	0.001 0	0.002 4	0.001 1	0.051 6
牛膝多糖 ABP	<0.000 1	0.002 1	0.054 5	0.001 3	0.001 2	0.094 1

黄芪多糖×白术多糖 APS×AMP	0.798 0	0.406 4	0.945 0	0.507 4	0.036 2	0.415 8
黄芪多糖×牛膝多糖 APS×ABP	0.923 6	0.107 3	0.860 1	0.223 1	0.347 9	0.646 2
白术多糖×牛膝多糖 AMP×ABP	0.107 8	0.116 6	0.920 6	0.308 4	0.137 3	0.595 9
黄芪多糖×白术多糖×牛膝多糖 APS×AMP×ABP	0.048 4	0.107 1	0.920 6	0.043 2	0.259 3	0.250 9

3 讨 论

3.1 植物多糖对断奶仔猪生长性能的影响

植物多糖的生物活性表现在许多方面，具有抗菌、抗病毒、抗氧化、抗炎症、抗应激和降血脂等许多生理活性[5-6]。一些研究表明，植物多糖可通过添加到动物饲粮中作为动物的生长促进剂促进动物的生长发育。Yuan 等[12]研究不同剂量的黄芪多糖可通过增强仔猪免疫功能，显著改善断奶仔猪的生长性能。Yin 等[13]研究表明断奶仔猪饲粮中添加黄芪多糖可通过促进断奶仔猪氨基酸的消化和吸收，调节其对氨基酸的代谢，从而改善断奶仔猪的生长性能。Mao 等[14]在断奶仔猪饲粮中添加 500 mg/kg 的黄芪多糖可缓解由脂多糖引起的免疫抑制造成的仔猪的平均日采食量和平均日增重的下降。Chen 等[15]研究表明，断奶仔猪饲粮中添加 1 000 mg/kg 的牛膝多糖可显著提高 28~60 日龄断奶仔猪的平均日增重和饲料转化率。袁书林[16]发现在断奶仔猪饲粮中添加 500 mg/kg 黄芪多糖能显著提高断奶仔猪的平均日增重。本试验的结果表明，与对照组相比，单独添加植物多糖组断奶仔猪平均日增重有提高的趋势，但差异不显著，这与上述结果有所不同，可能与使用的多糖剂量有关。本试验中，与对照组相比，3 种多糖联合使用显著增加断奶仔猪平均日增重。单独添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖均能显著降低断奶仔猪腹泻率，且多糖的添加具有累积效应，以 3 种多糖一起添加效果最佳。本试验中，黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖对减少断奶仔猪腹泻的发生率有良好的效果，但产生互作效应的结果不一，可能因为 3 种多糖的添加比较单一，3 种多糖本身结构的复杂性和动物的生理特性等对试验产生一定的影响，这有待进一步研究。

3.2 植物多糖对断奶仔猪肠道内容物 pH 和 VFA 含量的影响

动物微生物活动最丰富的区域在大肠，在猪的盲肠、结肠与直肠部位，肠道微生物可发酵碳水化合物产生多种 VFA，如乳酸、甲酸、乙酸和丁酸等，同时能降低肠道内 pH[17]。张宇喆等[18]研究了 4 种山药多糖对宁乡猪盲肠食糜发酵产物的影响，试验表明山药多糖在体外发酵可产生大量的短链脂肪酸，使肠道的 pH 下降，同时微生物种群和种类减少。本试验研究表明，断奶仔猪饲粮中单独添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖能降低其盲肠和结肠中内容物的 pH，3 种多糖两两联合使用均可显著降低盲肠和结肠内容物的 pH，同时添加多糖组能显著提高断奶仔猪盲肠内容物 VFA 的含量，且表现为 2 种以上的多糖联合的效果高于单一多糖饲喂效果。植物多糖属于大分子化合物由于在肠道的前段没有相应的酶进行降解，进入消化道后段以后可作为肠道微生物的底物而被微生物代谢利用产生大量的 VFA，进而使肠道后段内容物的 pH 下降，进而影响肠道内环境。

3.3 植物多糖对断奶仔猪肠道微生物数量的影响

对断奶仔猪而言，由于其消化道内消化酶系统发育较差，消化调节机制不完善，且代谢旺盛，免疫系统发育不完善，所以这一阶段的仔猪很容易受到应激的影响，导致仔猪肠道内乳酸菌与双歧杆菌的绝对数量减少，而大肠杆菌和沙门氏菌的数量会显著增加[19]，这会使肠道内正常的肠道微生物菌群发生紊乱，而大肠杆菌会成为潜在的病原菌[20]。仔猪断奶后引起腹泻的主要病原菌为大肠杆菌[21]。断奶使仔猪肠道内原有的微生物区系发生了改变，表现为肠道大肠杆菌数量的上升，进而导致仔猪腹泻[22]。现代研究表明，植物多糖能积极的调理肠道微生态平衡，多糖类物质被认为具有益生元活性，多糖能被动物胃肠道后段的微生物发酵利用，并有选择性地刺激肠道中有益菌的生长与繁殖，抑制有害菌的滋生，进而减少动物腹泻的发生率[23]。曹冠华等[24]通过体外抑菌试验表明，黄精多糖可显著抑制大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的增殖。乳酸菌和双歧杆菌为肠道中的常在菌，能调节肠道内的微生态平衡，参与营养物质的代谢，构建动物免疫防御系统，对预防疾病具有重要作用。肠道内这些有益菌能分解碳水化合物产生多种有机酸，因此可以提高动物机体的消化机能，同时促进动物机体营养物质的吸收，且竞争性地抑制某些病原菌的增殖[25]。唐晓琳等[26]研究表明，糖萜素中的寡糖可使断奶仔猪肠道中有益双歧杆菌及乳酸杆菌的增殖，直接抑制大肠杆菌等有害微生物的繁殖。李树棚等[27]研究报道黄芪多糖能够促进雏鸡肠道内有益微生物在肠道内生长和定植，显著增加肠道内乳酸菌和双歧杆菌的数量，同时减少大肠杆菌的数量。徐永杰等[28]研究表明，牛蒡多糖可显著增加小鼠肠道内乳酸菌和双歧杆菌的数量，而大肠杆菌的数量无显著性变化。Bäckhed 等[29]研究报道乳酸菌、双歧杆菌等益生菌可利用肠道前段没被降解的多糖进而抑制致病微生物的繁殖。Sun 等[30]研究报道，玉屏风散多糖可显著提高兔肠道内微生物菌群的多样性，提高肠道内双歧杆菌和乳酸杆菌的数量，而大肠杆菌的数量显著降低。本试验也得到相同的结论，黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖单独添加能显著降低盲肠和结肠内大肠杆菌的数量，增加乳酸菌和双歧杆菌的数量，以三者联合添加效果最佳。植物多糖可被肠道内乳杆菌和双歧杆菌利用，促进肠道内有益菌大量繁殖；此外，双歧杆菌和乳酸杆菌产生的大量 VFA 通过降低肠道内的 pH 达到抑制肠道内不耐酸的致病菌如大肠杆菌和沙门氏菌的增殖，进而使肠道内失活的微生物菌群能在短时间内得到恢复平衡[25]。也可能是因为植物多糖能调节动物的免疫系统进而发挥抗菌作用[31]，同时多糖的有效成分与大肠杆菌等致病菌抢占肠壁内的定植位点，使有害菌受到抑制，而与其竞争的有益菌如双歧杆菌增殖[32]。

4 结 论

断奶仔猪饲粮中单独添加黄芪多糖、白术多糖和牛膝多糖能不同程度地降低其肠道内大肠杆菌的数量，增加有益菌的数量，有效地改善肠道微生态区系的平衡，降低各肠段的

pH，增加盲肠和结肠中短链脂肪酸的含量，降低断奶仔猪的腹泻，有效改善肠道内环境，从而不同程度地提高断奶仔猪的生长性能，且三者联用效果更佳。

参考文献：

[1] CAIRO P L G,GOIS F D,SBARDELLA M,et al.Effects of dietary supplementation of red pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) essential oil on performance,small intestinal morphology and microbial counts of weanling pigs[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2018,98(2):541–548.

[2] JIAO L F, KE Y L,XIAO K,et al.Effects of cello-oligosaccharide on intestinal microbiota and epithelial barrier function of weanling pigs[J].Journal of Animal Science,2015,93(3):1157–1164.

[3] FALCH B H,ESPEVIK T,RYAN L,et al.The cytokine stimulating activity of (1→3)-β-*D*-glucans is dependent on the triple helix conformation[J].Carbohydrate Research,2000,329(3):587–596.

[4] VANCOTT J L,KOBAYASHI T,YAMAMOTO M,et al.Induction of pneumococcal polysaccharide-specific mucosal immune responses by oral immunization[J].Vaccine,1996,14(5):392–398.

[5] 张淑杰,康玉凡.天然活性多糖研究进展[J].食品工业科技,2017,38(2):379–382,389.

[6] ZHANG Q B,LI N,ZHOU G F,et al.*In vivo* antioxidant activity of polysaccharide fraction from *Porphyra haitanesis* (Rhodephyta) in aging mice[J].Pharmacological Research,2003,48(2):151–155.

[7] 赵燕飞,汪以真.白术、微米白术和白术多糖对断奶仔猪生长性能和肠道形态及微生态区系的影响[J].中国畜牧杂志,2015,51(1):65–69.

[8] 甄玉国,陈雪,王晓磊,等.黄芪多糖(APS)对断奶仔猪生长性能、血液生理生化指标及菌群多样性的影响[J].中国兽医学报,2016,36(11):1954–1958,1968.

[9] 任芬芬.牛膝多糖对仔猪各肠段微生物多样性影响的研究[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2012.

[10] ZHAO C,LI M,LUO Y F,et al.Isolation and structural characterization of an immunostimulating polysaccharide from fuzi,*Aconitum carmichaeli*[J].Carbohydrate Research,2006,341(4):485–491.

[11] CHEN Q H,LIU Z Y,HE J H,et al.Achyranthes bidentata polysaccharide enhances immune response in weaned piglets[J].Immunopharmacology and Immunotoxicology,2009,31(2):253–260.

[12] YUAN S L,PIAO X S,LI D F,et al.Effects of dietary *Astragalus* polysaccharide on growth performance and immune function in weaned pigs[J].Animalence,2006,82(4):501–507.

[13] YIN F G,LIU Y L,YIN Y L,et al.Dietary supplementation with *Astragalus* polysaccharide enhances ileal digestibilities and serum concentrations of amino acids in early weaned piglets[J].Amino Acids,2006,37(2):263–270.

[14] MAO X F,PIAO X S,LAI C H,etal.Effects of β-glucan obtained from the Chinese herb *Astragalus Membranaceus* and lipopolysaccharide challenge on performance,immunological,adrenal,and somatotropic responses of weanling pigs[J].Journal of Animal Science,2005,83(12):2775–2782.

[15] CHEN Q H,LIU Z Y,HE J H,et al.*Achyranthes bidentata* polysaccharide enhances growth performance and health status in weaned piglets[J].Food and Agricultural Immunology,2011,22(1):17–29.

[16] 袁书林.黄芪多糖对断奶仔猪免疫调控作用及其机理[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2006:22–35.

[17] CANH T T,SUTTON A L,AARNINK A J,et al.Dietary carbohydrates alter the fecal composition and pH and the ammonia emission from slurry of growing pigs[J].Animal Science,1998,76(7):1887–1895.

[18] 张宇喆,孔祥峰,印遇龙,等.4 种山药多糖的体外发酵特性比较研究[J].天然产物研究与开发,2009,21(1):30–35.

[19] FULLER A R.Probiotics in man and animals[J].Journal of Applied Bacteriology,1989,66(5):365–378.

[20] CHADWICK R W,GEORGE S E,CLAXTON L D.Role of the gastrointestinal mucosa and microflora in the bioactivation of dietary and environmental mutagens or carcinogens[J].Drug Metabolism Reviews,1992,24(4):425–492.

[21] FAIRBROTHER J M,NADEAU É,GYLES C L.*Escherichia coli* in postweaning diarrhea in pigs:an update on bacterial types,pathogenesis,and prevention strategies[J].Animal Health Research Reviews,2005,6(1):17–39.

[22] VERVAEKE I J,DECUYPERE J A,DIERICK N A,et al.Quantitative *in vitro* evaluation of the energy metabolism influenced by virginiamycin and spiramycin used as growth promoters in pig nutrition[J].Journal of Animal Science,1979,49(3):846–856.

[23] MOHAN B,KADIRVEL R,BHASKARAN M,et al.Effect of probiotic supplementation on serum/yolk cholesterol and on egg shell thickness in layers[J].British Poultry Science,1995,36(5):799–803.

[24] 曹冠华,李泽东,赵荣华,等.生黄精多糖与制黄精多糖抑菌效果比较研究[J].食品科技,2017,42(9):202–206.

[25] RERKSUPPAPHOL S,RERKSUPPAPHOL L.*Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* stored at ambient temperature are effective in the treatment of acute diarrhoea[J].Annals of Tropical Paediatrics,2010,30(4):299–304.

[26] 唐晓琳,刘小飞,张石蕊.糖萜素与黄霉素对早期断奶仔猪生产性能和肠道菌群的比较研究[J].中国畜牧兽医,2007,34(6):15–18.

[27] 李树棚,赵献军.黄芪多糖及益生菌合生元对雏鸡肠道微生态区系的影响[J].家畜生态学报,2005,26(5):21–25.

[28] 徐永杰,张波,张讳腾.牛蒡多糖的提取及对小鼠肠道菌群的调节作用[J].食品科学,2009,30(23):428–431.

[29] BÄCKHED F,DING H,WANG T,et al.The gut microbiota as an environmental factor that regulates fat storage[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2004,101(44):15718–15723.

[30] SUN H,NI X Q,SONG X,et al.Fermented *Yupingfeng* polysaccharides enhance immunity by improving the foregut microflora and intestinal barrier in weaning rex rabbits[J].Applied Microbiology and Biotechnology,2016,100(18):8105–8120.

[31] ZHONG R Z,YU M,LIU H W,et al.Effects of dietary *Astragalus* polysaccharide and *Astragalus membranaceus* root supplementation on growth performance,rumen fermentation,immune responses,and antioxidant status of lambs[J].Animal Feed Science and Technology,2012,174(1/2):60–67.

[32] 魏炳栋,陈群,于维,等.黄芪多糖对三黄肉鸡生长性能及肠道菌群的影响[J].中国饲料,2013(17):26–28.

Effects of Botanical Polysaccharide on Growth Performance and Intestinal Environment of Weaned Piglets

XIE Hongbing ZOU Yun LIU Lili YANG Yongsheng HE Jianhua*

(*College of Animal Science and Technology*, *Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of *Astragalus* polysaccharides （APS）, *Atractylodes macrocephala* polysaccharides (AMP) and *Achyranthes bidentata* polysaccharides (ABP) on growth performance and intestinal environment of weaned piglets. A total of two hundred and fifty six 35-day-old Duroc×Landrace×Yorkshire crossbred piglets were randomly divided into 8 groups and each group had 4 replicates with 8 piglets per replicate. A 2×2×2 factorial trial with three factors of two levels each was conducted and the amount of APS, AMP and ABP were added at 0 and 800 mg/kg for 28 days. The results showed as follows: 1) adding alone or combined with any two of APS, AMP and ABP tended to increase the average daily gain of weaned piglets （P>0.05）， and the combination of three kinds of polysaccharides could significantly improve the average daily gain of weaned piglets (P<0.05). There were no significant differences in the ratio of feed to gain among all groups (P>0.05). The polysaccharide supplementation could significantly reduce the diarrhea rate of weaned piglets (P<0.05), importantly there was a certain interaction effect between polysaccharides. 2) Compared with the control group, the pH in ileum and rectum contents of weaned piglets fed diets supplemented with alone or combined with any two of polysaccharide had no significant change (P>0.05), but the pH in cecal and colon contents was significantly decreased (P<0.05), and it was worth mentioning that the combination of three polysaccharides had an interaction effect on the pH of cecal content (P<0.05). 3) Compared with the control group, the contents of total volatile fatty acids in the caecum contents of weaned piglets in alone or combined with polysaccharide groups were significantly increased (P<0.05), and the combination effect of the three polysaccharides was significantly higher than that of the single polysaccharide (P<0.05). 4) Adding alone or combined with APS, AMP and ABP significantly increased the numbers of intestinal *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* of weaned piglets (P<0.05). At the same time, although groups adding two kinds of polysaccharides had an increasing trend to the numbers of intestinal *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* compared with groups adding with one kind of polysaccharides, the difference was not significant (P>0.05). The number of *Escherichia coli* in intestinal tract of groups adding with one kind and two kinds as well as three kinds of polysaccharides could be significantly decreased (P<0.05). It is concluded that the addition of APS, AMP and ABP in the diet can improve intestinal environment, decrease the diarrhea rate and thus improving the growth

performance of weaned piglets, and the combination effects of three polysaccharides is the best.

Key words: *Astragalus* polysaccharides; *Atractylodes macrocephalaon* polysaccharide; *Achyranthes bidentata* polysaccharides; growth performance; intestinal environment

---

*Corresponding author, professor, E-mail: jianhuahy@hunau.edu.cn (责任编辑 田艳明)